

# KOMPARASI PEMISAHAN SISTEM BINER ASETON-N-BUTANOL, ASETON-ETANOL, ETANOL-N-BUTANOL DENGAN BENZENE-TOLUENE

Ni Ketut Sari

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Jatim  
Jl. Raya Rungkut Madya Gunung Anyar, Surabaya 60294,  
E-mail: sari\_ketut@yahoo.com

## Abstrak

Simulasi pemisahan sistem biner telah diteliti untuk melihat profil temperatur dan profil komposisi likuida di bottom terhadap waktu. Dengan mengetahui profil temperatur dan komposisi likuida di bottom dapat diketahui karakteristik sistem biner yang dipisahkan, apakah sistem biner tersebut membentuk campuran azeotropik atau zeotropik. Untuk menghitung tekanan uap jenuh digunakan persamaan Antoine berdasarkan kondisi atmosferik. Koefisien aktivitas dihitung menggunakan persamaan UNIQUAC. Forward-finite-difference digunakan untuk menghitung komposisi dibagian bawah kolom pada waktu yang ditentukan dari komposisi awal sistem biner.

Beberapa nilai-nilai awal komposisi sistem biner telah dipilih untuk melengkapi komposisi likuida di bottom. Dari profil temperatur yang dihasilkan menunjukkan bahwa secara simulasi sistem biner aseton-n-butanol dan etanol-n-butanol mempunyai karakteristik campuran yang berbeda saat awal pemisahan dibandingkan sistem biner aseton-etanol. Selain itu karakteristik campuran yang berbeda dari sistem biner aseton-n-butanol dan etanol-n-butanol dapat dilihat dari profil koefisien aktivitasnya. Dari profil komposisi likuida di bottom menunjukkan bahwa sistem biner yang diteliti membentuk campuran zeotropik, tanpa mempunyai campuran azeotropik dari masing-masing komponennya.

Hasil simulasi pemisahan sistem biner yang diteliti kemudian komparasi dengan sistem biner hidrokarbon yaitu sistem biner benzene-toluene.

**Kata kunci :** Azeotropik, distilasi batch sederhana, sistem biner, zeotropik.

## Abstract

A simulation on separating binary system has been studied to investigate the temperature and liquid compositions profiles in the bottom changing with time. By having temperature and liquid compositions profiles in the bottom, one can find whether the binary mixture forms azeotropes or zeotropes mixtures. Antoine equation has used to calculate saturated vapour pressure at atmospheric pressure. The activity coefficient was calculated using UNIQUAC.

Forward finite-difference was used to get the calculated value of the bottom still composition at a given time starting from a given initial composition of binary system. Several initial values of the composition binary system had been chosen to complete liquid compositions in the bottom. The results showed that the temperature profiles of acetone-n-butanol and ethanol-n-butanol binary system have differences characteristic from acetone-ethanol binary system. Those can be seen from activity coefficient profile.

The results showed that the binary system formed zeotropes mixture, without having any azeotropes mixtures of its components. The results simulation on separation binary system has been comparison with hydrocarbon binary system benzene-toluene mixture.

**Keywords:** azeotropes, simple batch distillation, binary system, zeotropes.

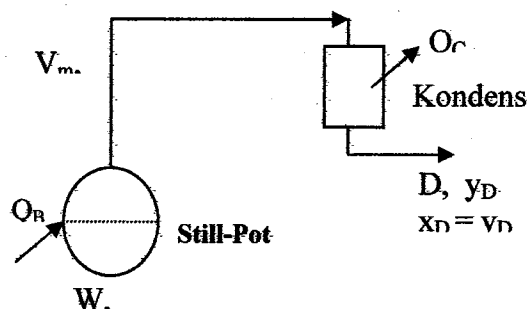
## Pendahuluan

Pada awalnya distilasi batch sederhana digunakan untuk memisahkan sistem biner yaitu campuran  $\text{HCl-H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ . Adapun asumsi yang digunakan adalah liquidida tercampur sempurna pada *still-pot*, kondensasi menggunakan total kondensor dan *relative volatility* ( $\alpha$ ) dianggap konstan (Rayleigh, 1902) dan kemudian ditulis ulang dalam buku panduan *Separation Process Principles* oleh Henley dan Seader (1998). Pemisahan sistem biner etanol-air secara eksperimen dengan distilasi batch sederhana dan secara simulasi dengan program Basic. Dalam menghitung koefisien aktifitas ( $\gamma$ ) menggunakan persamaan Margules, Van Laar, Wilson, NRTL dan UNIQUAC. Hasil penelitian dibuat dalam kurva kesetimbangan temperatur, komposisi liquidida dan komposisi uap. Dari persamaan yang digunakan diperoleh *mean deviation* antara hasil eksperimen dan hasil simulasi untuk temperatur dan komposisi uap dari persamaan UNIQUAC yang paling kecil (Schweitzer, 1996). Pemisahan sistem biner dari campuran benzene-etanol-air dengan menggunakan bermacam-macam model antara lain: *regular solution model*, biner NRTL model dan terner LLE NRTL model. Dari ketiga model yang digunakan diperoleh temperatur azeotropik yang berbeda-beda. Jika hasil simulasi yang diperoleh dari ketiga model yang digunakan, kemudian dibandingkan dengan data eksperimen maka hasil yang mendekati adalah biner NRTL model (Fidkowski dkk., 1990). Dari penelitian sistem biner yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu, dalam penelitian ini dilakukan simulasi pemisahan sistem biner dengan distilasi batch sederhana. Dalam menghitung koefisien aktifitas menggunakan persamaan UNIQUAC. Metoda yang digunakan menggunakan metoda *rigorous* dengan model *Differential-Algebraic-Equations* (DAEs) untuk sistem biner. Dari hasil simulasi yang diperoleh kemudian divalidasi dengan sistem biner hidrokarbon yaitu sistem biner benzene-toluene.

## Model DAEs

Persamaan yang berlaku untuk pemisahan sistem terner pada distilasi batch sederhana dapat dijabarkan dari pengurangan kecepatan aliran.

dalam *still pot* dan kecepatan aliran keluar seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sketsa aliran distilasi batch sederhana

$$V_m = -d/dt (W \cdot x_w) \quad (1)$$

$$V_m = -W \cdot x_w/dt - x_w \cdot dW/dt \quad (2)$$

$$V_m = D \cdot y_D \quad (3)$$

$$D = -\frac{dW}{dt} \quad (4)$$

Pengurangan kecepatan aliran dalam kolom = kecepatan aliran keluar

$$W \cdot dx_w/dt + x_w \cdot dW/dt = -D \cdot y_D$$

$$\frac{dx_w}{dt} = (y_D - x_w) \frac{dW}{W dt} \quad (5)$$

Dalam pemisahan sistem terner, diasumsikan bahwa liquidida bercampur sempurna dimana  $x_w = x_i$  dan  $y_D = y_i$ , maka Persamaan (5) ditulis berikut (Henley dan Seader, 1998):

$$\frac{dx_i}{dt} = (y_i - x_i) \frac{dW}{W dt} \quad (6)$$

$$\frac{dx_i}{(y_i - x_i)} = \frac{dW}{W} \quad (7)$$

Dengan kondisi awal :  $x = x_0$  dan  $W = W_0$ , kemudian Pers. (7) diintegralkan menjadi:

$$\int_{x_0}^x \frac{dx_i}{(y_i - x_i)} = \int_{W_0}^W \frac{dW}{W} = \ln \left( \frac{W}{W_0} \right) \quad (8)$$

$$\frac{dx_i}{(y_i - x_i)} = d \ln \left( \frac{W}{W_0} \right) \quad (9)$$

Didefinisikan *dimensionless* waktu ( $\xi$ ) adalah sebagai berikut:

$$\xi = \ln \left( \frac{W_0}{W} \right) \quad (10)$$

Dimana,  $\xi$  = bilangan tak berdimensi yang tergantung pada waktu.

Persamaan (10) disubstitusi ke dalam Persamaan (9), sehingga diperoleh Pers.

$$\frac{dx_i}{(y_i - x_i)} = d\xi \quad (11)$$

Persamaan (11) merupakan model DAEs untuk distilasi batch sederhana sistem biner, dengan asumsi tidak membentuk dua fase liquida.

Persamaan (11) telah ditulis oleh *Doherty* dan *Perkins* (1978) sebagai berikut:

$$d\xi = \frac{-dx_i}{(x_i - y_i)} \quad (12)$$

Dengan *forward-finite-difference*, dari Persamaan (11) akan diperoleh komposisi liquida di *bottom* ( $x_{i,j+1}$ ) sebagai fungsi  $\Delta\xi$ , sehingga didapat Persamaan (13):

$$dx_i = (y_i - x_i) d\xi$$

$$\Delta x_i = (y_i - x_i) \Delta\xi \quad (13)$$

$$x_{i,j+1} = x_{i,j} + (y_{i,j} - x_{i,j}) \Delta\xi \quad (14)$$

Dimana komposisi liquida mula-mula di *bottom* ( $x_{i,j}$ ) dan  $\Delta\xi$  ditentukan, sedangkan komposisi uap ( $y_{i,j}$ ) dihitung menggunakan Persamaan BUBL T (*Prausnitz*, 2001). Pada tekanan rendah fase uap mendekati gas ideal, sehingga harga  $\phi_i = \phi_i^{\text{sat}} = 1$ , sehingga faktor *pyotning* dapat pula dianggap sama dengan satu, pengambilan asumsi bahwa  $\phi_i = 1$  menimbulkan kesalahan yang kecil untuk kesetimbangan uap liquid tekanan rendah, sehingga diperoleh persamaan untuk menghitung komposisi uap ( $y_i$ ):

$$\gamma_i = \frac{y_i \cdot P}{x_i \cdot P_i^{\text{sat}}} \quad (15)$$

Persamaan (15) ini dikenal juga sebagai persamaan *Raoult* yang dimodifikasi. Salah satu Persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien aktifitas ( $\gamma$ ) adalah persamaan UNIQAC. Konstanta kesetimbangan antara fase uap dan fase liquid didefinisikan sebagai berikut:

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{\gamma_i \cdot P_i^{\text{sat}}}{P} \quad (16)$$

Prosedur iterasi untuk mencari temperatur *bubble* yaitu mencari harga temperatur jenuh dari komponen murni  $T_i^{\text{sat}}$  pada  $P$  (*Prausnitz* dkk., 2001).

$$T_i^{\text{sat}} = \frac{B_i}{A_i - \log P} - C_i \quad (17)$$

dimana  $A$ ,  $B$ ,  $C$  adalah konstanta *Antoine* untuk spesies  $i$ , untuk semua estimasi awal.

$$T = \sum_i x_i T_i^{\text{sat}} \quad (18)$$

Harga  $T$  sebagai harga awal akan digunakan untuk mengetahui tekanan uap jenuh suatu zat yang akan diestimasi dengan Persamaan *Antoine*.

$$\log(P_i^{\text{sat}}) = A_i - \frac{B_i}{C_i + T} \quad (19)$$

$P_i^{\text{sat}}$  dapat dicari dari persamaan *Antoine*, dimana  $P_i^{\text{sat}}$  adalah untuk semua spesies termasuk  $j$ , yang mana ini merupakan spesies yang dipilih dari set (i).

Identify spesies  $j$ :

Mencari tekanan uap jenuh spesies  $j$  untuk komponen-1:

$$P_{\text{total}} = x_1 \gamma_1 P_1^{\text{sat}} + x_2 \gamma_2 P_2^{\text{sat}} \quad (20)$$

$$x_1 \gamma_1 P_1^{\text{sat}} = P - \sum_j x_j \gamma_j P_j^{\text{sat}} \quad (21)$$

$$P_1^{\text{sat}} = \frac{P - \sum_j x_j \gamma_j P_j^{\text{sat}}}{x_1 \gamma_1} \quad (22)$$

Untuk  $j = 2$

Sedangkan harga  $T$  baru dicari menurut Persamaan (23):

$$T = \frac{B_j}{A_j - \log P_j^{\text{sat}}} - C_j \quad (23)$$

Kemudian dilakukan normalisasi antara  $T$  baru dengan  $T$  awal, dengan Persamaan (24):

$$\left| \frac{(T_{\text{baru}} - T_{\text{awal}})}{T_{\text{baru}}} \right| \leq e \quad (24)$$

### Metodologi Penelitian

Penyelesaian model DAEs dengan metoda *Euler* menggunakan program Matlab versi 6.1. Dalam menentukan komposisi liquida sistem biner dengan menentukan komponen *volatile* besar dan komponen *non-volatile* kecil atau sebaliknya. Dimulai dari komposisi komponen *volatile* 0,8 dan komposisi komponen *non-volatile* 0,2 dengan interval antara Run sebesar 0,1. Sebagai contoh komposisi liquida sistem biner aseton-n-butanol seperti Tabel 1, hal yang sama untuk komposisi liquida sistem biner aseton-etanol, etanol-n-butanol dan benzene-toluene.

Komponen	Benzene	Toluene
Benzene	0	-118,908
Toluene	131,371	0

**Tabel 1.** Komposisi liquida sistem biner aseton-n-butanol

Run	Komposisi Liquida (fraksi mol)	
	Aseton	n-butanol
1	0,8	0,2
2	0,7	0,3
3	0,6	0,4
4	0,5	0,5
5	0,4	0,6
6	0,3	0,7
7	0,2	0,8

Untuk menghitung tekanan uap jenuh masing-masing komponen digunakan persamaan *Antoine*, data parameter *Antoine* seperti Tabel 2 (Prausnitz, 2001), dimana suhu (T) dalam satuan K dan tekanan uap jenuh ( $P^{sat}$ ) dalam satuan Bar.

**Tabel 2.** Parameter *Antoine* aseton, n-butanol, etanol, benzene dan toluene.

Komponen	Parameter Antoine		
	A	B	C
Aseton	4,2184	4,6493	5,3365
n-Butanol	197,01	1395,14	1648,22
Etanol	228,06	182,739	230,918
Benzene	3,98523	1184,24	217,572
Toluene	4,05043	1327,62	217,625

Untuk menghitung koefisien aktivitas ( $\gamma$ ) campuran menggunakan Persamaan UNIQUAC dimana harga parameter interaksi biner UNIQUAC ( $u_{ij}$ ), seperti Tabel 3 dan Tabel 4 (Gmehling dan Onken, 1977). harga  $z = 10$ .

**Tabel 3.** Interaksi biner UNIQUAC sistem biner aseton-n-butanol, aseton-etanol dan etanol-n-butanol

Komponen	Aseton	n-Butanol	Etanol
Aseton	0	-198,659	98,752
n-Butanol	453,669	0	38,707
Etanol	94,242	75,355	0

**Tabel 4.** Interaksi biner UNIQUAC sistem biner benzene-toluene

Data volume molekuler (r) dan luas permukaan molekuler (q) seperti Tabel 5 (Prausnitz, 2001).

**Tabel 5.** Volume dan luas permukaan molekuler aseton, n-butanol, etanol, benzene dan toluene.

Komponen	r	q
Aseton	2,5735	2,3359
n-Butanol	3,4542	3,0520
Etanol	2,1054	1,9720
Benzene	3,1878	2,4000
Toluene	3,9228	2,9680

#### Prosedur Simulasi Sistem Biner:

- Memasukkan harga, komposisi liquida mula-mula ( $x_i$ ), *dimensionless* waktu ( $\Delta\xi$ , tekanan (P), data parameter *Antoine* (A, B, C)
- Menghitung harga temperatur uap jenuh ( $T_i^{sat}$ ) dengan persamaan (17), kemudian menghitung temperatur ( $T_i$ ) dengan persamaan (18).
- Menghitung harga tekanan uap jenuh ( $P_i^{sat}$ ) dengan persamaan (19).
- Menghitung harga koefisien Aktivitas ( $\gamma_i$ ) dengan persamaan UNIQUAC.
- Identify species j, dengan menghitung tekanan uap jenuh komponen-1 ( $P_1^{sat}$ ) menggunakan persamaan (22).
- Menghitung harga temperatur yang baru ( $T_i$  baru) dengan persamaan (23).
- Menormalisasi temperatur yang baru ( $T_i$  baru), yaitu dengan cara membandingkan temperatur yang baru dengan temperatur yang lama dengan persamaan (24).
- Apabila memenuhi syarat sesuai dengan kesalahan yang kita tetapkan maka program dilanjutkan, jika tidak memenuhi kembali menghitung harga tekanan uap jenuh ( $P_i^{sat}$ ).

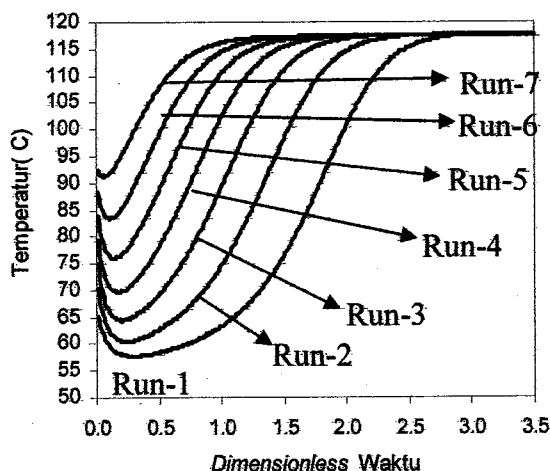
#### Hasil dan Pembahasan

Dari hasil simulasi sistem biner yang akan ditinjau masalah profil temperatur dan profil komposisi liquida di *bottom* terhadap waktu. Profil temperatur hasil simulasi merupakan profil temperatur campuran. Profil temperatur di *bottom* menunjukkan hasil yang hampir sama dengan temperatur di distilat, karena proses distilasi batch sederhana beroperasi dalam kondisi total refluks.

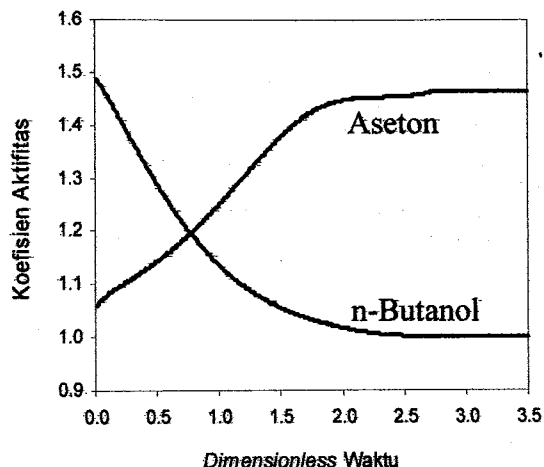
### Hasil Simulasi Aseton-n-Butanol

Gambar 2 menunjukkan profil temperatur aseton-n-butanol untuk Run-1 sampai Run-7 secara keseluruhan makin naik terhadap *dimensionless* waktu, karena komponen aseton diuapkan terlebih dahulu kemudian disusul komponen n-butanol.

Kecuali pada *dimensionless* waktu dari 0 sampai 0,25 profil temperatur turun. Hal ini disebabkan karena sifat karakteristik campuran aseton-n-butanol, ditunjukkan dari koefisien aktifitas aseton dan n-butanol seperti Gambar 3. Hal lain disebabkan karena n-butanol dalam campuran mempunyai sifat yang sangat tidak ideal dan sifat membentuk campuran azeotropik. Semakin besar komposisi n-butanol pada umpan masuk menunjukkan *slope* penurunan temperatur yang lebih curam dan lebih pendek, karena temperatur campuran aseton-n-butanol besar sehingga dibutuhkan waktu yang lebih pendek. Semakin banyak komposisi aseton yang menguap maka profil temperatur naik, hingga saat tertentu komposisi aseton habis teruapkan dan profil temperatur konstan.

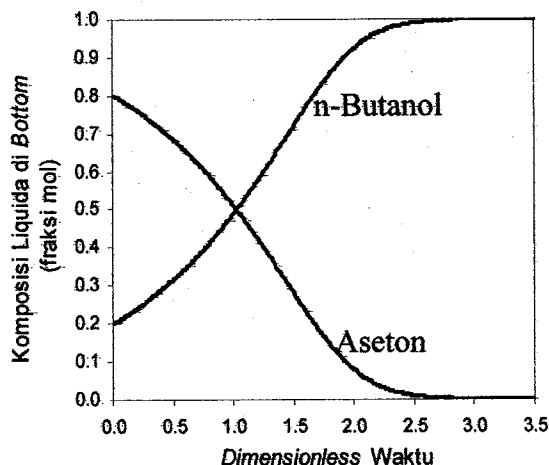


Gambar 2. Profil temperatur aseton-n-butanol untuk Run-1 sampai Run-7



Gambar 3. Profil koefisien aktifitas aseton-n-butanol Run-1

Gambar 3 menunjukkan profil koefisien aktifitas aseton naik dan n-butanol turun, saat *dimensionless* waktu 2,5 profil koefisien aktifitas konstan. Hal ini disebabkan karena pada awal proses distilasi batch sederhana komponen aseton diuapkan dengan porsi yang lebih besar sehingga profil koefisien aktifitas juga ikut naik. Pada saat profil koefisien aktifitas konstan, jumlah komponen aseton di distilat hampir sama komponen aseton di *bottom*, maka profil koefisien aktifitas aseton konstan ditunjukkan pada Pers. (15), hal yang sama juga untuk komponen n-butanol.



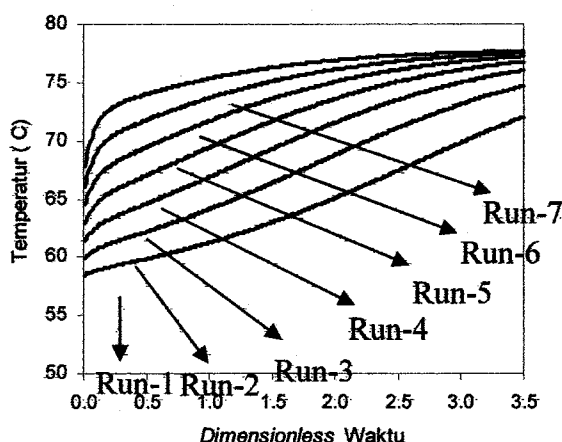
Gambar 4. Profil komposisi liquida di *bottom* aseton-n-butanol Run-1

Gambar 4 menunjukkan profil komposisi aseton menurun dan komposisi n-butanol menunjukkan profil naik dari komposisi awal. Karena komponen aseton merupakan komponen *volatile* sedangkan komponen n-butanol

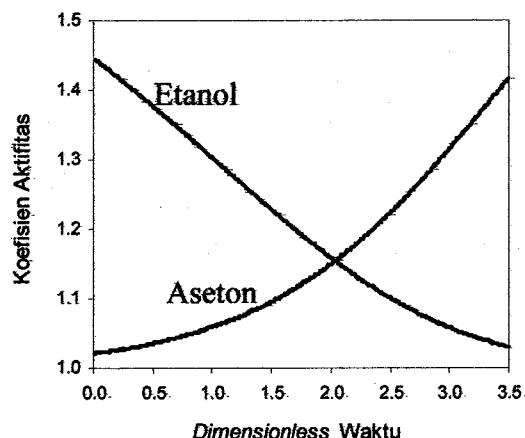
merupakan komponen *non-volatile*, pada saat proses distilasi batch sederhana komponen aseton dalam porsi yang lebih besar diuapkan dan sisanya adalah komponen n-butanol. Kedua komponen menunjukkan profil komposisi yang konstan pada saat *dimensionless* waktu menunjukkan nilai 2,5 karena komposisi aseton pada umpan masuk besar sehingga dibutuhkan waktu distilasi yang lebih kecil untuk memperoleh komposisi lebih murni dari komposisi awal.

#### Hasil Simulasi Aseton-Etanol

Gambar 5 menunjukkan profil temperatur aseton-etanol untuk Run-1 sampai Run-7 secara keseluruhan makin naik terhadap *dimensionless* waktu. Untuk daerah *dimensionless* waktu 0 sampai 0,25 profil temperatur menunjukkan profil naik, karena karakteristik campuran aseton-etanol seperti yang ditunjukkan profil koefisien aktifitas. Hal lain disebabkan karena etanol dalam campuran mempunyai sifat membentuk campuran azeotropik kecil. Untuk daerah *dimensionless* waktu 3,5 profil temperatur belum konstan, karena campuran aseton-etanol mempunyai temperatur campuran yang lebih kecil dibandingkan sistem biner lainnya, sehingga dibutuhkan *dimensionless* waktu yang lebih besar untuk memperoleh profil temperatur yang konstan. Jika distilasi batch sederhana diteruskan sampai *dimensionless* waktu yang sangat besar maka akan diperoleh nilai komposisi masing-masing campuran negatif, hal seperti ini tidak dikehendaki.

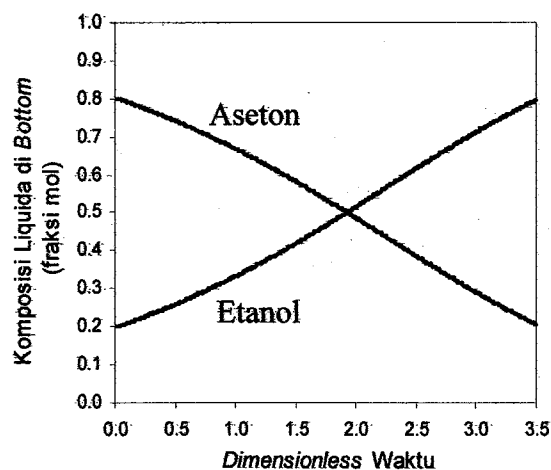


Gambar 5. Profil temperatur aseton-etanol Run-1 sampai Run-7



Gambar 6. Profil koefisien aktifitas aseton-etanol Run-1

Gambar 6 menunjukkan profil koefisien aktifitas aseton dan etanol naik saat *dimensionless* waktu 0 sampai 0,25. Akan berpengaruh pada profil temperatur, karena pada awal proses distilasi batch sederhana baik komponen aseton maupun komponen etanol menunjukkan profil naik sehingga profil temperatur naik. Profil koefisien aktifitas aseton naik karena pada proses distilasi batch sederhana yang diuapkan dalam porsi yang lebih besar adalah komponen aseton, hal sebaliknya untuk komponen n-butanol mengikuti Persamaan (15).



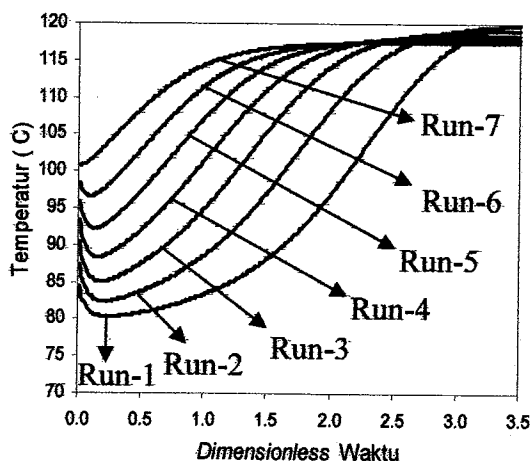
Gambar 7. Profil komposisi liquida di bottom aseton-etanol Run-1

Dari Gambar 7 menunjukkan profil komposisi liquida di bottom Run-1, komposisi aseton menunjukkan profil menurun dari komposisi awal dan komposisi etanol menunjukkan profil naik dari komposisi awal. Karena komponen aseton merupakan komponen *volatile* sedangkan komponen etanol merupakan

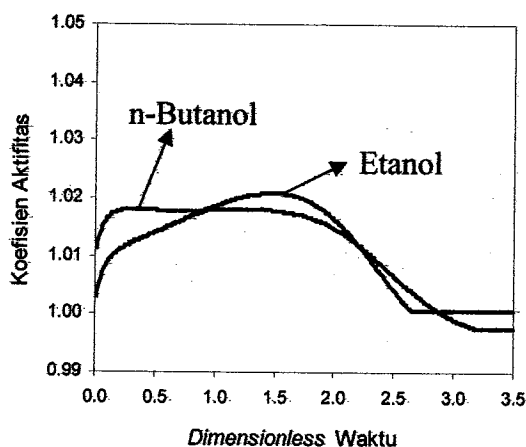
komponen *non-volatile*, pada saat proses distilasi batch komponen *volatile* dalam porsi yang lebih besar diuapkan dan sisanya adalah komponen *non-volatile*. Kedua komponen belum menunjukkan profil komposisi konstan, sehingga dibutuhkan *dimensionless* waktu yang lebih besar untuk memperoleh komponen etanol yang lebih murni.

#### Hasil Simulasi Etanol-n-Butanol

Dari Gambar 8 menunjukkan profil temperatur etanol-n-butanol untuk Run-1 sampai Run-7 secara keseluruhan makin naik terhadap *dimensionless* waktu kecuali pada *dimensionless* waktu dari 0 sampai 0,25 profil temperatur turun. Hal ini disebabkan karena komponen yang diuapkan dengan porsi yang lebih besar adalah komponen etanol, sehingga dibutuhkan temperatur yang lebih besar untuk menguapkan komponen n-butanol yang belum diuapkan. Semakin besar komposisi n-butanol pada umpan masuk menunjukkan slope penurunan temperatur yang lebih curam dan lebih pendek, karena temperatur campuran etanol-n-butanol besar sehingga dibutuhkan waktu yang lebih pendek. Semakin banyak komposisi etanol yang menguap maka profil temperatur menunjukkan kenaikan terus menerus, hingga saat tertentu komposisi etanol habis teruapkan dan profil temperatur menunjukkan konstan.



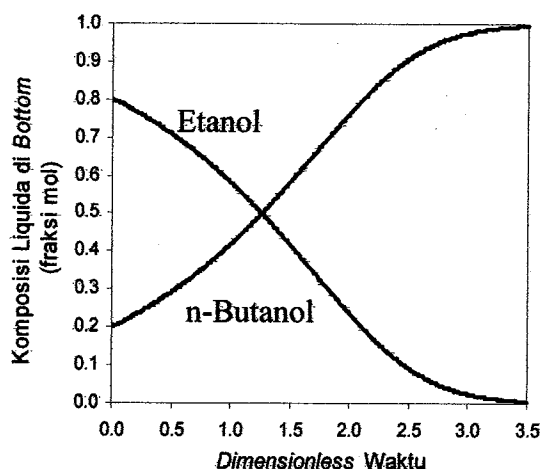
Gambar 8. Profil temperatur etanol-n-butanol untuk Run-1 sampai Run-7



Gambar 9. Profil koefisien aktifitas etanol-n-butanol Run-1

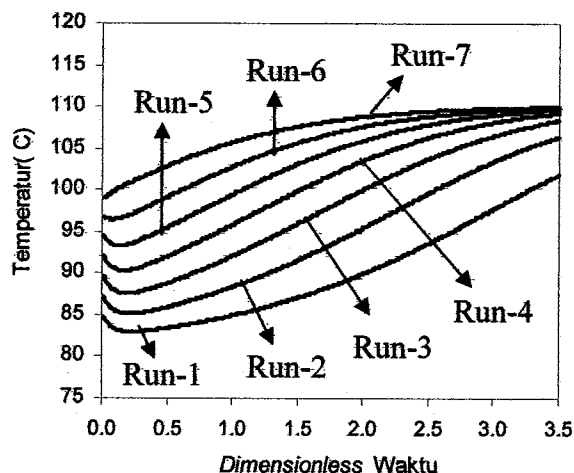
Untuk daerah *dimensionless* waktu 0 sampai 0,25 profil temperatur menurun untuk semua run, karena hal ini disebabkan sifat karakteristik campuran etanol-n-butanol, ditunjukkan dari koefisien aktifitas etanol-n-butanol seperti Gambar 9 yang tidak monoton naik atau turun. Hal lain disebabkan karena campuran etanol-n-butanol dalam campuran mempunyai sifat ideal dan membentuk campuran zeotropik, sehingga profil koefisien aktifitas etanol-n-butanol yang ditunjukkan mendekati satu.

Dari Gambar 10 menunjukkan profil komposisi liquida di *bottom* Run-1, komposisi etanol menunjukkan profil menurun dari komposisi awal dan komposisi n-butanol menunjukkan profil naik dari komposisi awal. Karena komponen etanol merupakan komponen *volatile* sedangkan komponen n-butanol merupakan komponen *non-volatile*, pada saat proses distilasi batch komponen *volatile* dalam porsi yang lebih besar diuapkan dan sisanya adalah komponen *non-volatile*. Kedua komponen menunjukkan profil komposisi yang konstan pada saat *dimensionless* waktu menunjukkan nilai 3,5 sehingga dibutuhkan *dimensionless* waktu yang lebih kecil untuk memperoleh komponen n-butanol yang lebih murni dari komposisi awal.



**Gambar 10.** Profil komposisi liquida di *bottom* etanol-n-butanol Run-1

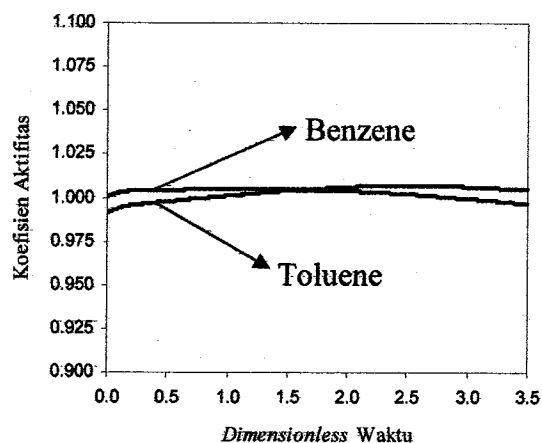
#### Validasi Hasil Simulasi



**Gambar 11.** Profil temperatur benzene-toluene untuk Run-1 sampai Run-7.

Gambar 11 menunjukkan profil temperatur benzene-toluene untuk Run-1 sampai Run-7 secara keseluruhan makin naik terhadap *dimensionless* waktu. Hal ini disebabkan karena komponen yang diuapkan dengan porsi yang lebih besar adalah komponen benzene, sehingga dibutuhkan temperatur yang lebih besar untuk menguapkan komponen toluene yang belum diuapkan. Untuk daerah *dimensionless* waktu 0 sampai 0,25 profil temperatur menunjukkan profil naik, karena karakteristik campuran benzene-toluene seperti yang ditunjukkan profil koefisien aktifitas. Untuk daerah *dimensionless* waktu sama dengan 3,5 menunjukkan profil temperatur belum semua profil konstan, karena campuran benzene-toluene mempunyai temperatur campuran yang lebih besar

dibandingkan sistem biner lainnya, sehingga dibutuhkan *dimensionless* waktu yang lebih besar untuk memperoleh profil temperatur yang konstan.

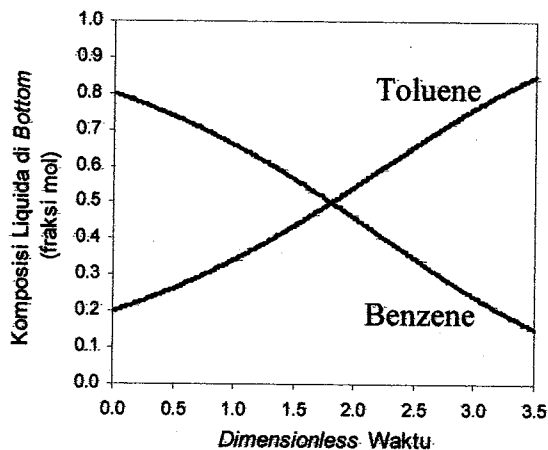


**Gambar 12.** Profil koefisien aktifitas benzene-toluene Run-1

Gambar 12 menunjukkan profil koefisien aktifitas benzene-toluene sama dengan satu, karena campuran benzene-toluene merupakan campuran hidrokarbon yang bersifat ideal, dipakai sebagai validasi sistem biner seperti aseton-n-butanol, aseton-etanol dan etanol-n-butanol.

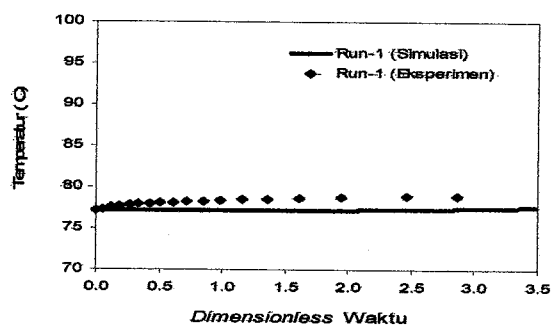
Gambar 13 menunjukkan profil komposisi liquida di *bottom* Run-1, komposisi benzene menunjukkan profil menurun dari komposisi awal dan komposisi toluene menunjukkan profil naik dari komposisi awal. Karena komponen benzene merupakan komponen *volatile* sedangkan komponen toluene merupakan komponen *non-volatile*, pada saat proses distilasi batch komponen *volatile* dalam porsi yang lebih besar diuapkan dan sisanya adalah komponen *non-volatile*. Kedua komponen belum menunjukkan profil komposisi liquida di *bottom* konstan sehingga dibutuhkan *dimensionless* waktu yang lebih besar untuk memperoleh komponen toluene yang lebih murni dari komposisi awal. Dari profil komposisi liquida di *bottom* campuran benzene-toluene digunakan validasi campuran aseton-n-butanol, aseton-etanol dan etanol-n-butanol.



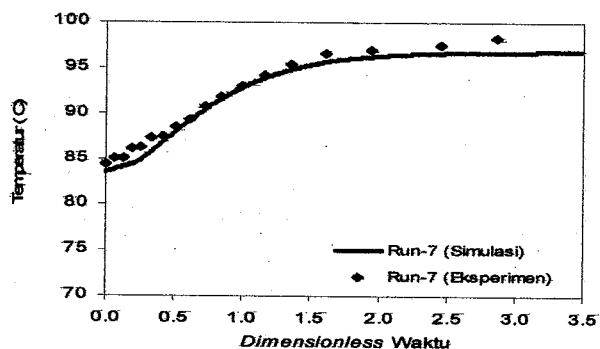


**Gambar 13.** Profil komposisi liquida di *bottom* benzene-toluene Run-1

Dari Gambar 14 menunjukkan hasil eksperimen dan simulasi sistem biner atanol-air menunjukkan profil temperatur naik dari temperatur pada kondisi total reflux sampai temperatur akhir proses distilasi batch sederhana. Hal ini disebabkan karena dalam eksperimen dipengaruhi oleh efek panas, sehingga profil temperatur cenderung naik. Antara hasil eksperimen dan simulasi sistem biner atanol-air menunjukkan perbedaan temperatur kurang lebih 1 °C, hasil ini bisa diterima dan untuk memperoleh hasil yang lebih baik dilakukan dengan mengatur panas pada bagian heater yang digunakan. Disamping itu untuk Run-1 komposisi umpan masuk yang digunakan mengandung komponen *volatile* (etanol) dengan porsi komposisi besar, sehingga komponen *volatile* sangat mudah menguap.



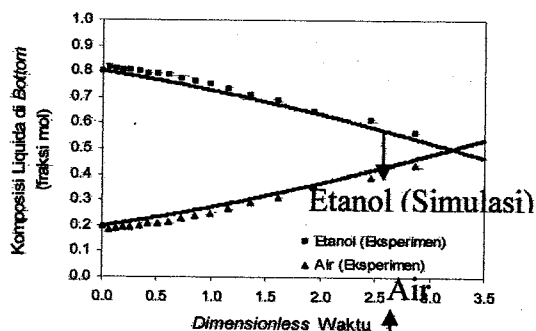
**Gambar 14** Profil temperatur sistem biner etanol-air untuk Run-1, hasil eksperimen dan simulasi.



**Gambar 15** Profil temperatur sistem biner etanol-air untuk Run-7, hasil eksperimen dan simulasi

Gambar 15 menunjukkan profil temperatur sistem biner etanol-air untuk Run-7 dari hasil eksperimen dan simulasi, dibandingkan dengan Gambar 4.34 menunjukkan profil yang berbeda. Untuk Gambar 4.35 menunjukkan profil temperatur antara hasil eksperimen dan simulasi sistem biner atanol-air mendekati sama, karena komposisi umpan mengandung lebih banyak komposisi air. Pada saat proses distilasi batch sederhana berlangsung komponen etanol dalam porsi yang lebih besar menguap menjadi distilat dan sisanya komponen air. Setelah komponen etanol habis teruapkan maka sisanya adalah komponen air yang diuapkan dalam porsi yang besar, sehingga temperatur yang dibutuhkan untuk proses distilasi batch sederhana lebih tinggi.

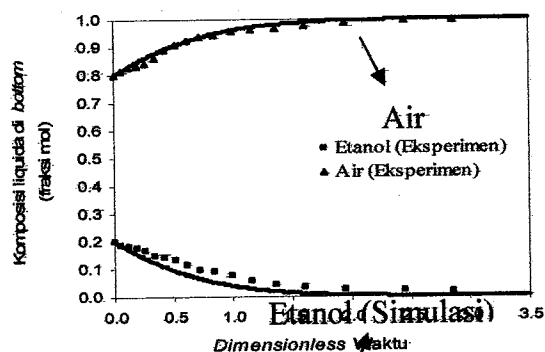
• Profil Komposisi Liquida di *Bottom* Sistem Biner Etanol-Air



**Gambar 16** Profil komposisi liquida di *bottom* sistem biner etanol-air untuk Run-1, hasil eksperimen dan simulasi.

Dari Gambar 16 menunjukkan profil komposisi liquida di *bottom* hasil simulasi pemisahan sistem biner etanol-air, untuk profil komposisi air hasil eksperimen berada dibawah profil komposisi air hasil simulasi. Hal ini disebabkan karena pada

proses distilasi batch sederhana komposisi air diuapkan dalam porsi yang lebih kecil dibandingkan komposisi etanol, sehingga komposisi etanol menguap lebih banyak dibandingkan komposisi air. Dalam eksperimen harus mengisi ruang yang kosong seperti kolom, kondensor dll., sehingga komposisi air yang menguap hasil eksperimen lebih kecil dibandingkan hasil simulasi, sehingga profil komposisi liquida di *bottom* hasil eksperimen tidak bisa sama dengan hasil simulasi. Pada saat *dimensionless* waktu menunjukkan nilai 3,5 komposisi etanol dan air lebih murni dibandingkan komposisi etanol dan air awal, untuk memperoleh komposisi etanol dan air lebih murni dari Gambar 4.32 dengan memperbesar komposisi air pada campuran umpan masuk.



**Gambar 17** Profil komposisi liquida di *bottom* sistem biner etanol-air untuk Run-7, hasil eksperimen dan simulasi.

Dari Gambar 17 menunjukkan profil komposisi liquida di *bottom* hasil simulasi pemisahan sistem biner etanol-air, untuk profil komposisi air hasil eksperimen berada dibawah profil komposisi air hasil simulasi. Hal ini disebabkan karena pada proses distilasi batch sederhana untuk eksperimen harus mengisi ruang yang kosong seperti kolom, kondensor dll., sehingga komposisi air yang menguap hasil eksperimen lebih kecil dibandingkan hasil simulasi, sehingga profil komposisi liquida di *bottom* hasil eksperimen tidak bisa sama dengan hasil simulasi. Pada saat *dimensionless* waktu menunjukkan nilai 2,5 komposisi etanol dan air lebih murni dibandingkan komposisi etanol dan air awal, hal ini disebabkan karena dengan memperbesar komposisi air pada campuran umpan masuk maka waktu untuk distilasi batch lebih cepat dan komposisi etanol dan air lebih murni.

## Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan diantaranya:

1. Profil temperatur sistem biner secara keseluruhan menunjukkan profil naik, kecuali sistem biner aseton-n-butanol dan etanol-n-butanol menunjukkan profil turun pada saat *dimensionless* waktu menunjukkan 0 sampai 0,25 ; karena komponen etanol dan n-butanol dalam campuran mempunyai sifat ideal dan membentuk campuran zeotropik.
2. Profil komposisi liquida di *bottom* untuk ketiga sistem biner menunjukkan bahwa setelah dilakukan simulasi pemisahan sistem biner membentuk campuran zeotropik, tanpa membentuk campuran azeotropik dari masing-masing komponen.
3. Simulasi sistem biner aseton-n-butanol, aseton-etanol dan etanol-n-butanol setelah divalidasi dengan sistem biner benzene-toluene memenuhi syarat, dimana koefisien aktifitas sama dengan satu.

## Daftar Pustaka

1. Doherty, M. F. and J. D. Perkins, (1978), On the Dynamics of Distillation Processes: II. The Simple Distillation of Model Solutions, *Chem. Eng. Sci.*, 33, pp. 281-301.
2. Fidkowski, Z. T., M. F. Doherty and M. F. Malone, (1990), Feasibility of Separations for Distillation of Non ideal Ternary Mixtures, *AIChE Journal*, 39, No. 8, 1303 -1321.
3. Gmehling, J. and U. Onken, (1977), "Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection", DECHEMA Chemistry Data Series, I, DECHEMA, Frankfurt.
4. Henley, E. J. and J. D. Seader, (1998), "Separation Process Principles", pp. 586-712, John Wiley & Sons, Inc., New York.
5. Prausnitz, J. M., (2001), "The Properties of Gases and Liquids", ed. 5, pp. A.50 – A. 51, Mc. Graw-Hill, New York.
6. Rayleigh, L., (1902), *Phil. Mag.* [vi.], No. 4 (23), pp. 521.
7. Schweitzer, P. A. (1996), "Handbook of Separation Techniques for Chem. Eng.", Edisi III, McGraw-Hill Companies, New York.

## Daftar Notasi

- A : parameter Antoine  
 B : parameter Antoine  
 C : parameter Antoine  
 D : distilat, mol s<sup>-1</sup>  
 d : diferensial  
 K : konstanta kesetimbangan  
 P : tekanan, Bar

$q$  : volume parameter UNIQUAC  
 $r$  : luasan parameter UNIQUAC  
 $t$  : waktu, s  
 $u_{ji}$  : parameter interaksi biner UNIQUAC, J mol<sup>-1</sup>  
 $u_{ji}$  : parameter interaksi biner UNIQUAC, J mol<sup>-1</sup>  
 $V$  : kecepatan aliran uap, mol s<sup>-1</sup>  
 $W$  : kecepatan aliran liquida, mol s<sup>-1</sup>  
 $x$  : komposisi liquida, fraksi mol  
 $y$  : komposisi uap, fraksi mol

**Huruf Yunani**

$\gamma$  : koefisien aktivitas  
 $\xi$  : *dimensionless* waktu

***Superscripts***

Sat : liquida jenuh

***Subscripts***

$B$  : boiler  
 $C$  : kondensat  
 $D$  : distilat  
 $m$  : akumulasi  
 $i$  : komponen  $i$   
 $j$  : komponen  $j$   
 $j$  : indeks  $j$   
 $W$  : *bottom*